

# 퍼지AHP를 이용한 실시간 자율주행 시스템의 구현 Implementation of Real Time Automatic Running System using Fuzzy Analytic Hierachy Process

진 현 수

백석대학교 정보통신학부  
E-mail: jhs1020@bu.ac.kr

## 요 약

본연구에서는 센서의 융합을 통하여 환경을 인식하며, 주변환경에 대한 지식을 갱신, 학습할수 있는 방법론을 연구하며, 동적인 장애물의 감지및 움직임 예측에 기반한 지능적 회피 알고리즘과 AHP를 이용한 Navigation Strategy수정과 이동 로봇 스스로 최적의 결과를 낼수 있게 개선 시키는 알고리즘을 구현한다. 그와 더불어 AHP를 이용하여 Navigation Performance를 최대로 높일 수 있는 방향을로 진화시키는 알고리즘을 구현한다. 또한 부여된 임무수행을 위한 목표물 추적을 위한 비전 시스템에서의 대상체 추출및 인식 알고리즘을 개발하며 인간뇌의 환경인식 체계와 유사한 방식의 Map building기법을 연구한다.

## 1.서론

본 연구는 다양한 형태의 센서융합과 환경인식 및 지능 알고리즘에 기반한 주행 Hardware/Software의 개발을 통하여 인간과 공존하며 인간이 할 수 없거나 수행하기 어려운 여러작업을 대신하며 사회에 도움이 되는 가치를 창출할 수 있는 서비스 로봇을 개발한다.

본연구는 뇌신경계의 행동 메커니즘과 정보처리방식을 연구하고 신경계의 확인 판정방식인 주행성의 애매성을 확인 판독하는 방식을 기존의 인공신경망 방식의 계산법에서 벗어나 계층적 대안 확인 방식을 사용하여 주행거리의 최단시간을 이루어 나가는 방식이다. 이를

바탕으로 뇌기능의 주요반응인 자율 적응 행동시스템을 구현하여 인간 행동 시스템에 관련된 실질적인 연구를 수행하고자 한다. 특히 “자율 주행 시스템의 구현“에서는 공학적인 접근방법을 통해 인공적으로 모델링된 뇌의 정보 처리 메커니즘을 자율 주행 로봇에 적용하는 공학적 응용에 초점을 맞추어 진행되었으며 다양한 센서 융합과 공존하며 인간이 할 수 없거나 수행에 어려움이 있는 여러 작업을 대신하며 사회에 도움이 되는 가치를 창출할 수 있는 서비스 로봇의 개발을 최종 목표로 한다.

본연구에서는 인간 뇌의 환경인식체계와 유사한 지도의 작성법으로써 센서 퓨전을 통해 추출된 특징점들을 이용한 계층적 지도 작성 방법과 이를 저장하는

방식 그리고 주어진 지도를 기반으로 하여 목적지까지의 최적의 경로를 탐색할 수 있는 진화연산 방식 등의 기반 기술체계를 확립하였으며, 인식이 용이한 인공의 Landmark을 이용하여 로봇의 자세보정 및 자기위치 보정이 가능한 기술을 확립하였고, 이 기술을 바탕으로 현재 동적인 물체에 대한 움직임 예측을 이용하여 강인한 추적 알고리즘을 개발 중에 있다.

초음파 센서를 이용한 Intelligent Local Path Planning 알고리즘 연구를 수행하고 이를 이용하여 인간지능을 모사한 자율주차 알고리즘 개발 및 실험 및 Active Head System을 통해 인간의 안구의 움직임을 신호로 이용한 로봇의 원격 제어 시스템 이외에도 비전 및 센서 융합 기반의 주행 알고리즘 연구와 Map Based Path Planning 기법 연구 등이 이에 속한다. 인공 Landmark을 비전 센서로 인식하고, 퍼지 컨트롤을 이용한 Hybrid Position and Image Based Visual Servoing 알고리즘 연구 등이 포함될 수 있다. 비전 센서와 초음파 센서를 신경망 이론을 이용하여 융합하여 장애물을 회피하며 목표점에 도달하는 알고리즘 연구를 앞으로 시행을 해야 할 것이며 특징점 추출을 위해 초음파 센서와 비전 센서를 융합한 결과를 이용하고, 특징점 간의 관계를 맺어주기 위해서 주행 기록 정보를 이용함으로써 Topological Map을 생성 알고리즘 연구와 생성된 맵 정보로부터 최적의 Global Path를 찾아내기 위하여 기본적인 Topological Map 정보 외에 각 특징점의 간단한 Geometrical 정보를 추가하고 기존 로봇의 복잡한 신경망 모델에서 벗어나 인간의 사고작용을 모사한 단순한 신경망 모델을 이용 기존 모델과 유사한 성능 구현하고 자율주행 알고리즘 테스트 및 향후 Multi-agent Robot System 구축을

위한 추가 로봇 플랫폼을 제작을 한다

## 2. 주행 알고리즘 변환

다양한 센서 융합과 환경 인식 및 지능 알고리즘에 기반한 주행 hardware/Software의 개발을 통하여 인간과 공존하며 인간이 할 수 없거나 수행에 어려움을 가진 여러 작업을 대신하며 사회에 도움이 되는 가치를 창출할 수 있는 서비스 로봇의 개발을 최종 목표로 한다. 센서의 융합을 통하여 환경을 인식하며, 주변 환경에 대한 지식을 갱신, 학습할 수 있는 능력을 가진 로봇의 개발을 목표로 하여, 환경 인식, 지식 갱신, 학습 등의 기능을 인간의 뇌 정보 처리 모델을 이용하여 로봇에 구현한다. 초음파 센서와 레이저 센서는 거리 측정에서 해상도와 정확도가 뛰어나기 때문에 오래전부터 로봇의 환경 인식 연구에 사용되어 왔다. 초음파 센서는 가격이 저렴하고 사용이 용이해서 많이 사용되고 있지만, 특성상 다른 센서로 인한 간섭으로 잘못된 데이터를 받은 경우가 발생하게 된다. 이것을 제거하기 위한 연구로 alternating firing pattern과 Pseudo random pulse sequences, double pulse coding을 이용한 연구 등이 있었다. 연구에서 주로 사용된 초음파 센서로 Polaroid Ranging Module이 있다. 또한 효과적인 navigation이 필요한 동적 물체에 대해서는 초음파 센서만으로 안정적인 데이터를 얻을 수 없기 때문에 많은 연구에서 비교적 매우 안정적인 거리 데이터를 얻을 수 있는 레이저 센서를 사용하게 되었다.

## 3. 항법 시스템 구성

이동 로봇에서 사용되는 추측 항법 센서로는 내부 주행기 (엔코더), 가속도계 또는 자이로스코프 (자이로 센서)가 있다.

이 방법은 구성이 간단하고 외부의 도움없이 실시간으로 위치 추정이 가능하다는 장점이 있는 반면에 위치 오차의 증가를 피할 수 없는 단점이 있다. 엔코더는 주로 모터에 부착되어 이동 거리를 측정한다. 차등 엔코저를 사용하면 위치 뿐만 아니라 자세까지도 계산할 수 있다. 그러나 엔코저의 오차는 주행거리에 비례해서 증가하는 특성이 있다. 자이로 센서는 각속도를 측정하는 센서로서 장시간 동안 정확한 각속도를 제공할 수 있다. 그러나 자세를 계산하기 위해 측정된 각속도를 적분하여야 하는데 오차가 적분과정을 통해서 누적되어 시간이 지남에 따라서 자세오차를 유발하는 원인이 된다. 따라서 주기적으로 자세오차를 보정해야 한다. 엔코더는 차등 엔코더를 사용하였고 자이로 센서는 진동형 자이로센서를 사용하였다. 엔코더와 자이로센서의 데이터는 제어 컴퓨터와 직렬통신포트를 사용하여 데이터를 전송한다.

### 3.1 추측항법

추측항법은 이동로봇의 기준위치와 방향으로부터의 변이를 측정하여 이동로봇에 현재의 위치를 계산하는 방법이다. 아래 그림과 같이 2차원공간에서 차등 구동 방식의 이동로봇이 주행한다고 하면 현재 위치와 자세는 아래식과 같이 된다. OXY 좌표계는 기준좌표계이고, oxy는 원점이 이동로봇의 중심인 로봇 좌표계이다. 이동로봇의 자세는 기준좌표계와 로봇좌표계의 각차이로 정의한다. 이동로봇의 위치와 자세는 차등 엔코더를 사용하여 계산할 수 있다.

$$X(k+1) = X(k) + \sin\theta(k) \times INC$$

$$Y(k+1) = Y(k) + \cos\theta(k) \times INC$$

$$\theta(k+1) = \theta(k) + \frac{RINC + LINC}{2}$$

여기서

X,Y: 기준좌표계의 X,Y축 위치

$\theta$ : 이동로봇의 방향각

RINC, LINC: 각각 오른쪽 엔코더, 왼쪽 엔코더의 증가분

D: 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴사이의 거리 (축간거리)

INC: 로봇 중심의 이동거리

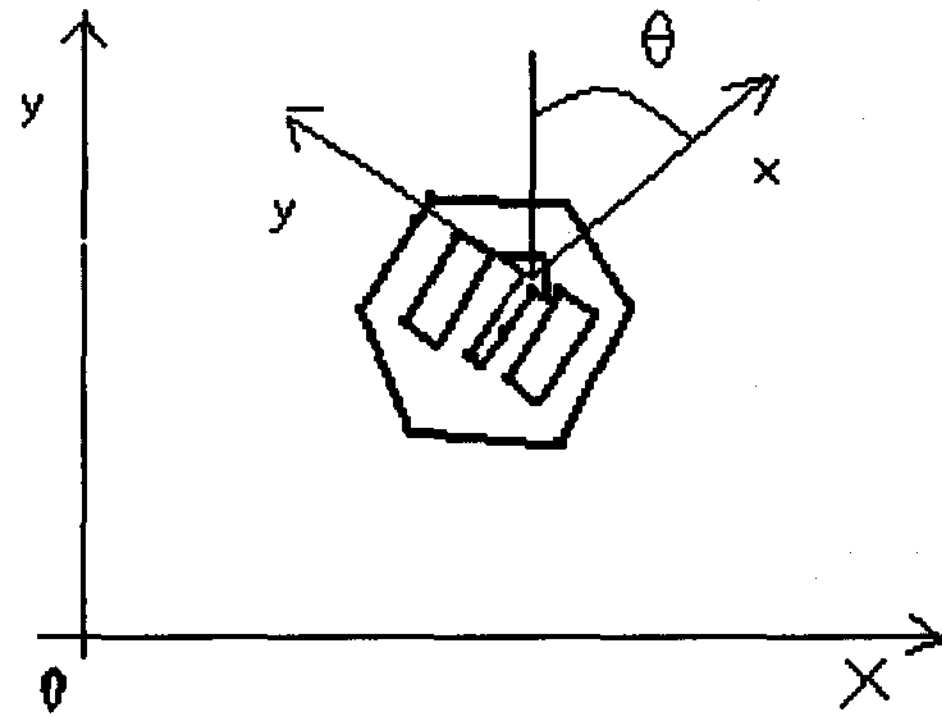


그림 1. 이동로봇의 좌표계

엔코더 오차는 엔코더 환산계수오차의 왼쪽, 오른쪽 바퀴사이의 거리오차등 규정오차와 고르지 못한 평면을 주행하거나 미끄러짐 현상등에 의해 발생하는 비정규 오차가 있다.

추측항법에서 규정오차로 인해 발생하는 방향각의 오차를 보상하기 위해 자이로 센서를 사용하였다. 자이로센서를 이용한 방향각 계산하여 엔코더 오차는 엔코더 환산계수오차와 왼쪽, 오른쪽 바퀴사이의 거리오차등 규정오차와 고르지 못한 평면을 주행하거나 미끄러짐 현상등에 의해 발생하는 비정규오차가 있다. 추측항법에서 규정오차로 인해 발생하는 방향각의 오차를 보상하기 위해 자이로센서를 사용하였다.

$$\dot{\theta} = B_s \Omega + B_{r,b}$$

여기서

$\theta$ : 자이로센서를 이용하여 계산된 방향

각

$\Omega$  : 측정된 각속도 (volt)

$B_s$  : 환산계수 ( $^{\circ}/\text{sec}/\text{volt}$ )

$B_{rb}$  : 불규칙 바이어스

자이로센서의 주요 오차는 불규칙 바이어스 오차와 환산계수 오차이다. 일반적으로 자이로센서의 측정값은 외부 입력이 없는 경우에는 영의 출력을 나타내야 하지만 시간에 따라 누적되는 드리프트오차에 의해서 실제 출력은 영이 되지 않는다

#### 4. 장애물 회피

이동로봇이 주행환경에 대한 사전 정보 없이 센서로부터 획득한 정보만으로 주어진 목표점까지 도달하기 위해서는 장애물 회피 알고리즘이 반드시 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 벡터필드 히스토그램 (VFH: virtual force field) 알고리즘을 사용하였다. 벡터필드 히스토그램 알고리즘은 발견된 장애물로부터 자유공간을 찾아서 목표점을 지향하는 진행방향을 출력한다. 본 장에서는 벡터필드 히스토그램 알고리즘에 대하여 기술하고 초음파센서의 데이터로 만들어진 활성창의 매칭에 대하여 설명한다.

##### 4.1 벡터필드 히스토그램

벡터필드 히스토그램 알고리즘은 Johann. Borenstein과 Yoram. Koren에 의해 발표된 로봇의 주행 알고리즘이다. 벡터필드 히스토그램 알고리즘은 초음파센서로부터 얻은 장애물에 대한 위치 및 방향을 계산하고, 자유공간을 계산하여 로봇의 진행방향을 출력하는 주행 알고리즘이다. 벡터필드 히스토그램 알고리즘은 크게 두 부분으로 구성된다. 첫 번째는 로봇을 중심으로 한 활성창에 장애물에 대한 가중치를 부여하고 이 정보를 이용하여 장애물의 위치와 방향을

계산하여 2차원 좌표계인 활성창을 1차원 좌표계인 극 막대 위치와 방향을 계산하여 2차원 좌표계인 활성창을 1차원 좌표계인 극 막대 그래프로 변환하는 부분과, 두 번째는 1차원 좌표계로 변환된 극 막대 그래프 정보를 이용하여 자유공간을 찾고 장애물을 회피하며 최적의 목표점을 지향하는 로봇의 진행방향을 출력하는 부분으로 구성한다.

#### 5. 좌표계 변환

이동로봇을 중심으로 한 2차원 좌표계인 활성창은 300cm X 300cm 크기의 영역을 셀당 10cm X 10cm 크기로 격자화시켰다. 초음파센서로부터 획득된 정보는 각각의 활성창과 초음파센서를 이용하여 장애물이 있는 위치의 활성셀에 가중치를 부여하는 것을 보여준다. 여기서 Sector k: 1차원 좌표계인 극 막대 그래프로 변환하기 위한 분할된 영역번호 장애물의 방향, 가중치와 장애물과의 거리에 따른 장애물 벡터의 크기를 구

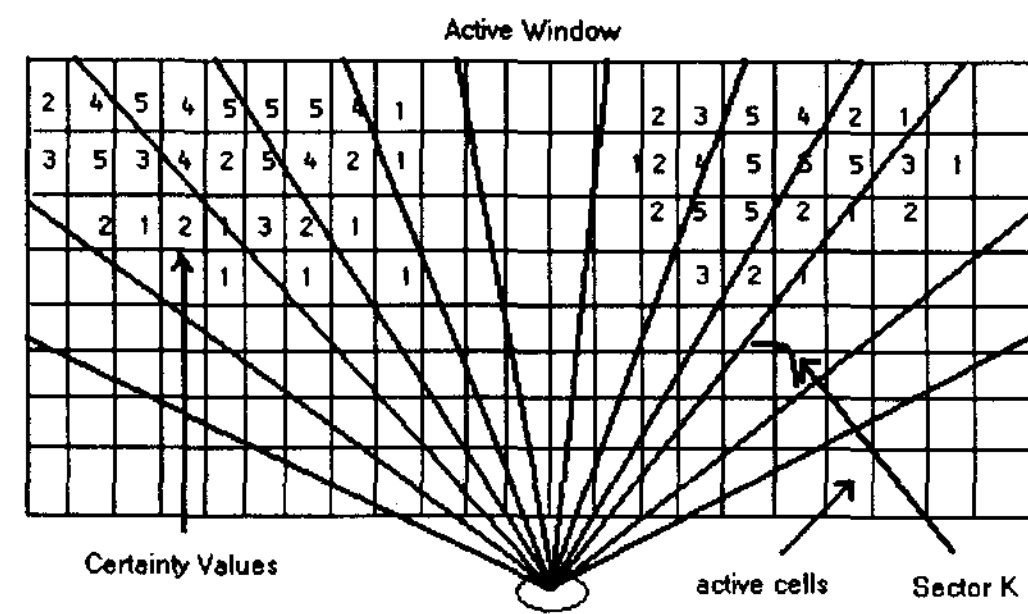


그림 2. 장애물 회피 시각

하는 방법은 다음식과 같다

$$\beta_{i,j} = \tan^{-1} \frac{y_i - y_o}{x_i - x_o}$$

$$m_{i,j} = (c_{i,j})^2(a - bd_{i,j})$$

여기서

a, b : 양의 값을 가지는 상수

$c_{i,j}$  : 활성셀의 가중치 값

$d_{i,j}$  : 활성셀과 로봇중심간의 거리

$m_{i,j}$  : 활성셀에 장애물 벡터크기

$x_i, y_i$  : 활성셀의 좌표

$\beta_{i,j}$  : 활성셀로부터 로봇중심으로의 방향

2차원 좌표계를 1차원 좌표계로 변환하기 위해서 장애물의 위치가 몇 번째 영역에 위치하는지를 구해야 한다. 분할된 영역의 개수 n은  $n=360/\alpha$ 으로 구해진다. 본논문에서는 절대분할각  $\alpha$ 를 10°로 하였다. 절대 분할각  $\alpha$ 의 결정은 사용자가 임의로 결정할 수 있다. 절대 분할각  $\alpha$ 를 너무 크게 결정하면 계산량은 적어지지만 이동로봇의 진행 방향을 결정하기가 힘들고 정밀한 제어가 힘들다. 너무 작을 경우에는 계산량이 지나치게 많아지는 단점이 있다. 다음 식은 장애물이 위치해 있는 영역번호 k를 계산하는 식이다.

$$k = \text{INT}(\beta_{i,j}/\alpha)$$

여기서  $k=0,1,2,\dots,n-1$

지금까지 구해온 값들을 사용하여 1차원 좌표계인 극 막대그래프로 변환을 하게 된다. 영역 장애물밀도 (POD: polar obstacle density)  $h_k$ 는 각각의 영역에 대하여 계산되어진다

$$h_k = \sum_{i,j} m_{i,j}$$

## 6. 결론

본 연구를 통해 다양한 형태의 센서정보를 융합하여 보다 지능적인 환경인식을 인접한 알고리즘 및 이정보를 바탕으로 계층적 지도 작성과 주어진 지도를 이용 최적의 경로를 탐색하는 알고

리즘을 개발하였으며 이러한 기술을 통합하여 자율주행 시스템의 시작품을 제작하였다. 로봇을 제작하는 산업체와의 공조를 통해 개발하는데 역점을 두어야겠다. 지금까지 결과물로서 나온 예측은 퍼지 시스템으로 부터 결론지워진 것 뿐 아니라 계층분석법을 통하여서 실시간으로 주어지는 예측은 산술적으로 예측하기 어려운 장애물 회피 방법을 인공지능적인 예측 방법도 아닌 복합된 방법으로서 예측을 하는 방법이므로 한층 업그레이드 된 방법이라 할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] T.Tsubouchi, "Nowdays trends in map generation for mobile robotics", Proceedings IROS'96, Osaka Japan, 1996, pp.828
- [2] D.Lee, "The map-building and exploration strategies of simple sonar-equipped mobile robot", Cambridge University Press 1996
- [3] Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", Information and control, Vol.8, pp.338-353, 1965
- [4] Wang, Li-Xin, Adaptive Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall, 1994
- [5] Goldberg, D.B., "An introduction to simulated evolutionary optimization", IEEE Trans. Neural Networks, Vol.5, pp.3-14, 1994